ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2019, № 1

УДК 004.896

О.М. Богданов, Б.М. Плескач
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Україна
вул. Генерала Наумова, 15, Київ, 03164

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

O.M. Bohdanov, B.M. Pleskach
Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine, Ukraine
15, General Naumov St., Kyiv, 03164

INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING OF EFFICIENCY OF ENERGY CONSUMPTION IN TECHNOLOGICAL SYSTEMS

У статті запропоновано підхід до моніторингу ефективності споживання енергетичних ресурсів у технологічних системах, заснований на спостереженні за прецедентами стаціонарного енергоспоживання. Такий підхід дозволяє адаптуватися до місцевих умов технологічної системи та своєчасно виявляти порушення технологічного процесу, які призводять до неочікуваних енергетичних втрат. Особливість енергетичного моніторингу, заснованого на спостереженні та фіксації прецедентів стаціонарних умов енергоспоживання, полягає у формуванні образів прецедентів у вигляді стохастичних оцінок факторів впливу на енергоспоживання та подальшій обробці методами штучного інтелекту.

Ключові слова: енергетична ефективність, міркування на основі прецедентів, підтримка прийняття рішень, пошук аналогій

The article proposes an approach to monitoring the efficiency of consumption of energy resources in technological systems, which is based on observing the precedents of stationary energy consumption. This approach allows us to adapt to the local conditions of the technological system and to detect in a timely manner any disturbances of the technological process that lead to unexpected energy losses. The peculiarity of energy monitoring based on observing and fixing the precedents of stationary conditions of energy consumption consists of the formation of precedent images in the form of stochastic estimates of factors of influence on energy consumption and subsequent processing by methods of artificial intelligence.

Key words: energy efficiency, considerations on the basis of precedents, decision-making support, search for analogies

Постановка проблеми

У сучасних умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів для забезпечення ефективного функціонування енергоємних підприємств і об’єктів житлово-комунального господарства, важливого значення набуває проблема створення системи управління енергетичним господарством як невід’ємної частини загальної системи управління фінансово-виробничою діяльністю [6]. Однією з ключових функцій такої системи є оперативний моніторинг ефективності споживання енергетичних ресурсів [7]. Таким чином, існує нагальна проблема створення платформи для системи підтримки прийняття рішень у реальному масштабі часу при моніторингу ефективності енергоспоживання об’єктами промисловості та житлово-комунального господарства. Відповідно, для реалізації функції моніторингу постає задача створення і дослідження нових інформаційних технологій, спрямованих на спостереження за ефективністю роботи технологічних систем, у тому числі, з використанням засобів штучного інтелекту. Застосування методів штучного інтелекту може надати нові властивості системам автоматизованого контролю за ефективністю енергоспоживання та дозволити

своєчасно виявляти місця та причини енергетичних втрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні системи енергетичного моніторингу побудовані на основі автоматизованих систем комерційного, або технологічного, обліку енергетичних ресурсів (АСКОЕ, ЛУЗОД), дозволяють отримувати розгорнуту інформацію про енергоспоживання та за участі фахівця-енергоменеджера домагатися раціональної витрати енергетичних ресурсів з урахуванням індивідуальних особливостей споживача [13]. У міжнародній практиці найбільш часто в енергетичному менеджменті використовується метод обробки інформації, який отримав назву «Monitoring and targeting» [5]. Він полягає в тому, що на основі даних про енергоспоживання та фактори, які мають вплив на нього, будується математична модель еталонного ефективного енергоспоживання, так званий «стандарт» енергоспоживання. У подальшому фактичне енергоспоживання технологічної системи порівнюється з розрахунковими значеннями «стандарту» ефективного енергоспоживання, отриманими за допомогою моделі.

Головна складність виникає при побудові моделі «стандарту» ефективного енергоспоживання, тому що вона пов'язана із математичною обробкою великих обсягів статистичних даних в умовах діючого виробництва. Таку модель зазвичай будують методами кореляційного або регресійного аналізу [4, 15] і вона вимагає наявності спеціальних математичних знань та навичок у енергоменеджера.

Іншим шляхом побудови таких моделей є залучення методів штучного інтелекту. Відомі спроби побудови систем енергетичного моніторингу за допомогою штучних нейронних мереж, у яких використовуються фактори впливу кожного значущого об'єкта виробничої системи для моделювання загального споживання енергії технологічною системою. При цьому функція залежності енергоспоживання від факторів впливу може поєднувати декілька нелінійних взаємодій [16]. Такі системи моніторингу вимагають тривалого періоду навчання системи. Крім того, вони не дають пояснень отриманим рішенням.

У даній роботі досліджується можливість використання для енергетичного моніторингу таких методів штучного інтелекту як моделювання міркувань за аналогією та експертні системи, здатні до навчання по прецедентам [3], та які не потребують від енергоменеджера проведення складних статистичних розрахунків.

Відомі різні напрямки застосування в техніці методу моделювання міркувань, заснованих на прецедентах. Так, у роботі [8] метод прецедентів використовується для визначення марки металу при виробництві відповідальних деталей у машинобудівному виробництві. У даному випадку типовий прецедент являє собою структуру, котра складається з опису проблеми, яка характеризує ситуацію, що склалася на момент активізації прецеденту і рішення, яке містить список можливих варіантів прийняття рішень і список виконавців, пов'язаних з даною проблемою. У роботі [10] розглядається прецедентна система підтримки прийняття рішень для діагностики мостових кранів. У ній прецедентом діагностики є опис поточного технічного стану крану мостового типу в сукупності з детальною вказівкою щодо робіт, які виконують у результаті діагностики, і передбачає такі основні компоненти: діагностичні параметри; діагноз; рекомендації щодо застосування рішення.

Мета дослідження – розробка інтелектуальної інформаційної технології, здатної розмірковувати та підтримувати прийняття рішень на основі накопичення та використання накопиченого досвіду енергоспоживання для організації оперативного моніторингу енергетичної ефективності технологічних систем та своєчасного діагностування місць і причин енергетичних втрат.

Для досягнення мети мають бути розв'язані наступні задачі:

- створення методичного забезпечення системи оперативного моніторингу енергетичної ефективності;
- дослідження апаратного забезпечення, придатного для реалізації системи оперативного моніторингу;
- створення структури програмного забезпечення інформаційної технології оперативного моніторингу енергетичної ефективності;
- порівняння математичної моделі, заснованої на прецедентах з відомими регресійними моделями.

Виклад основного матеріалу

Кожна технологічна система розрахована на ефективне споживання певних обсягів енергії в передбачених режимах роботи. Порушення нормативного технологічного процесу, викликані змінами технічного стану обладнання або діями персоналу, призводять до неочікуваних, наднормативних втрат енергії. Таким чином, потужність P енергоспоживання залежить від множини змінних параметрів експлуатації X технологічної системи. Параметри експлуатації, які впливають на енергоспоживання та не залежать один від одного, у подальшому будемо називати факторами впливу Y, $Y \in X$. Залежність потужності нормативного, або ефективного, енергоспоживання P_e від факторів впливу Y будемо називати функцією ефективного енергоспоживання: $P_e=f(Y)$. Якщо потужність енергоспоживання змінилась при незмінних факторах впливу, це свідчить, що сталося порушення нормального технологічного процесу і витрати енергетичних ресурсів перестали бути ефективними.

Оперативний моніторинг ефективності енергоспоживання полягає у регулярному вимірюванні факторів впливу в різних режимах роботи обладнання, моделюванні на їх основі потужності ефективного енергоспоживання та порівнянні її з поточною потужністю енергетичних витрат. Відповідно, система оперативного моніторингу енергетичної ефективності технологічних систем для підтримки прийняття рішень у реальному масштабі часу повинна відповідати наступним вимогам:

- здатності розпізнавати режими роботи технологічної системи;
- здатності адаптуватися до технічних та організаційних станів технологічної системи;
- здатності моделювати міркування та робити висновки відносно енергетичної ефективності;
- здатності спілкуватися з енергоменеджером;
- здатності аргументувати отримані висновки.

У процесі дослідження розроблено структуру інформаційної технології енергетичного моніторингу на засадах аналізу прецедентів, яка включає методичне, апаратне та програмне забезпечення. На відміну від загальноприйнятого методу побудови функції ефективного енергоспоживання, основаного на лінійній регресії, в даній роботі пропонується сплайн апроксимація функції ефективного енергоспоживання в реальному масштабі часу. Для цього представляється доцільним використання методу моделювання міркувань, заснованого на аналізі прецедентів [14, 2].

Методичне забезпечення

Прецедент стаціонарного енергоспоживання – це випадок у технологічній системі, при якому всі фактори впливу знаходяться в стаціонарному стані. Звідси, прецедент стаціонарного енергоспоживання має наступний формат:

$$Case = \begin{pmatrix} M(Y_1), & \dots, & M(Y_n); \\ D(Y_1), & \dots, & D(Y_n); \\ r(Y_1), & \dots, & r(Y_n); \\ \mathrm{P}, & \tau, & S \end{pmatrix} \quad (1)$$

де: $M(Y_1), \dots, M(Y_n)$ – математичні очікування факторів впливу $Y_1, \dots, Y_n$;

$D(Y_1), \dots, D(Y_n)$ – статистична дисперсія факторів впливу $Y_1, \dots, Y_n$;

$r(Y_1), \dots, r(Y_n)$ – коефіцієнти автокореляції факторів впливу $Y_1, \dots, Y_n$;

P – потужність енергоспоживання за період стаціонарного стану;

τ – тривалість стаціонарного стану;

S – ймовірний діагноз технічного стану.

На першому етапі моніторингу перевіряється вхідний потік факторів впливу $Y_1, \ldots, Y_n$ на стаціонарність відповідно до відомих методів аналізу [12]. Після виявлення стаціонарного режиму енергоспоживання фіксується момент його початку, математичні очікування $M(Y_1), \ldots, M(Y_n)$, дисперсії $D(Y_1), \ldots, D(Y_n)$ та коефіцієнти автокореляції $r(Y_1), \ldots, r(Y_n)$ факторів впливу, вимірюється потужність енергоспоживання P. Зафіксований таким чином прецедент стаціонарного енергоспоживання передається на подальшу обробку.

На другому етапі моніторингу виконується пошук у базі даних (БД) прецедентів, подібних зафіксованому, з застосуванням методу найближчих сусідів [1], модернізувавши його для використання статистичних показників визначальних параметрів енергоспоживання. Вважається, що усі прецеденти енергоспоживання розташовані в просторі математичних очікувань факторів впливу. Пошук найближчих сусідів до поточного прецеденту виконується згідно з формулою розрахунку відстаней в евклідовому просторі математичних очікувань факторів впливу поточного прецеденту та прецедентів, які зберігаються в БД:

$$dM_{ij}(Y)=\sqrt{(M_i(Y_1)-M_j(Y_1))^2+\cdots+(M_i(Y_n)-M_j(Y_n))^2} \qquad (2)$$

де $dM_{ij}(Y)$ – відстань між математичними очікуваннями факторів впливу i-го поточного прецеденту та j-го прецеденту з БД прецедентів. Таким чином, знаходиться в БД n прецедентів, які є найближчими сусідами до поточного прецеденту.

На третьому етапі моніторингу виконується апроксимація функції ефективної потужності енергоспоживання P_e по вибраних n прецедентах, найближчих до поточного. Для цього розраховуються коефіцієнти регресії $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_n$ функції ефективного енергоспоживання для i-го прецедента за методом найменших квадратів [11]:

$$P_{ei} = b_0 + b_1M_i(X_1) + b_2M_i(X_2) + \ldots + b_nM_i(X_n). \qquad (3)$$

На четвертому етапі моніторингу виконується оцінка поточного енергетичного стану. Для цього розраховується різниця ΔP_i між отриманим на попередньому етапі значенням P_{ei} і поточною потужністю енергоспоживання P_i $\Delta P_i = P_{ei} - P_i$.

Залежно від отриманого значення ΔP_i робимо висновок про енергетичну ефективність роботи обладнання, яке піддається моніторингу. Якщо $\Delta P_i \approx 0$, вважається, що обладнання працює ефективно, якщо $\Delta P_i > 0$, обладнання працює із зниженими енерговитратами і економія енергії дорівнює $\Delta P_i \bullet \tau$, якщо $\Delta P_i < 0$, обладнання працює з енергетичними втратами, розмір яких досягає відповідно $\Delta P_i \bullet \tau$.

На п'ятому етапі моніторингу відбувається заповнення БД прецедентів новими зафіксованими прецедентами. При цьому прецеденти автоматично поповнюють БД тільки у випадку, коли обладнання працює ефективно. В усіх інших випадках особі, яка приймає рішення, надається оферта з описом ситуації, що склалася на поточний момент, для прийняття остаточного рішення, пов'язаного або з пошуком причин енергетичних втрат, або з поясненням причин економії енергетичних ресурсів.

Апаратне забезпечення

Апаратне забезпечення інформаційної технології оперативного моніторингу ефективності енергоспоживання представлене програмованим контролером, пов'язаним з лічильником локального центру енергетичного обліку, модулем аналогового вводу та комп'ютером верхнього рівня, що зображені на рис. 1.

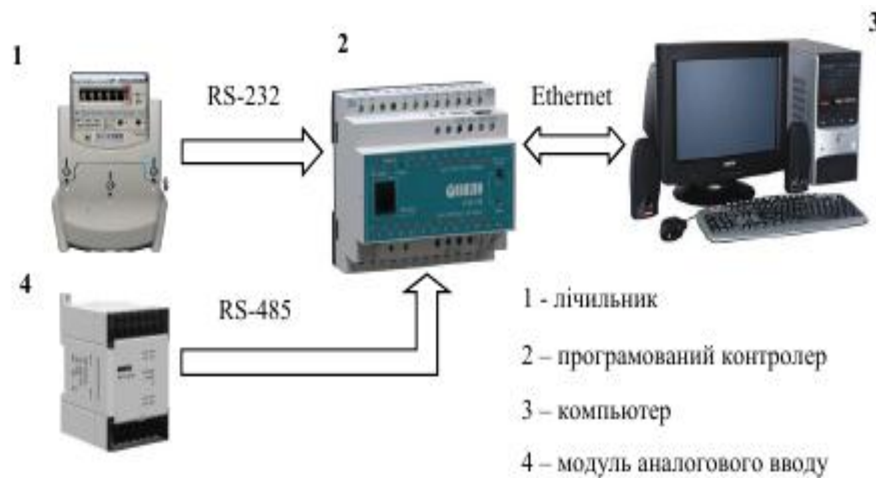


Рис. 1. Апаратне забезпечення інформаційної технології

Лічильник 1 розташований разом з модулем аналогового вводу 4 та програмованим контролером 2 у локальному центрі енергетичного обліку і призначений для технічного обліку спожитої технологічною системою енергії. Для інформаційного обміну між лічильником і програмованим контролером використовується передбачений у контролері послідовний стандарт RS-232.

Модуль аналогового вводу 4 призначений для вимірювання аналогових сигналів від датчиків факторів впливу технологічної системи. Виміряні дані у вигляді числових рядів передаються через інтерфейс RS-485 у програмований контролер 2.

Програмований контролер 2 аналізує відомим методом [9] числові ряди, які надходять від модуля аналогового вводу на стаціонарність та формує з них образи прецедентів згідно з алгоритмом, наданим на рис. 2.

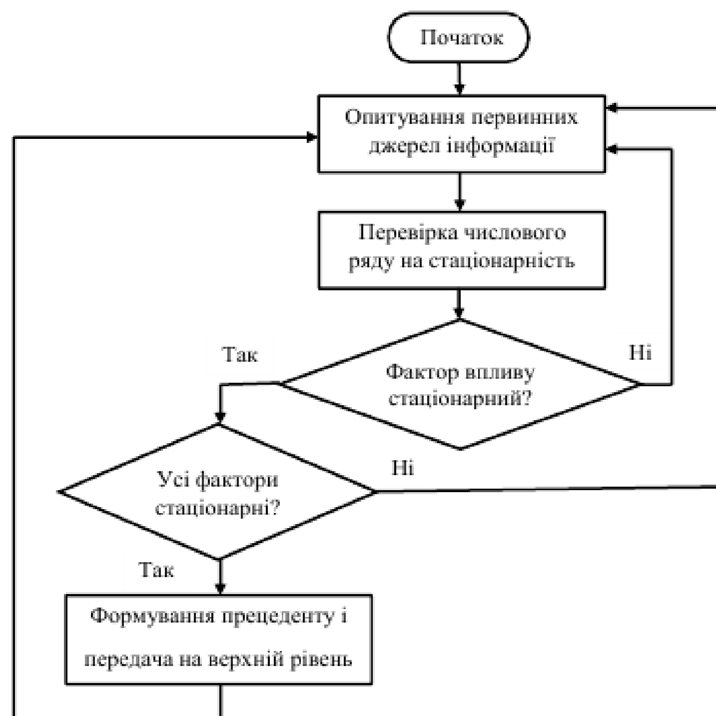


Рис. 2. Узагальнений алгоритм формування прецедентів у програмованому контролері

Структурна схема програмного забезпечення

У комп'ютері 3 реалізована експертна система моніторингу, заснована на роботі з прецедентами. Структурна схема програмного забезпечення прецедентної експертної системи моніторингу ефективності енергоспоживання надана на рис. 3.

Як видно з рис. 3, до складу програмного забезпечення прецедентної системи моніторингу входять модулі вводу прецедентів, пошуку сусідів, апроксимації, прийняття рішень, бази прецедентів та знань, інтерфейс користувача.

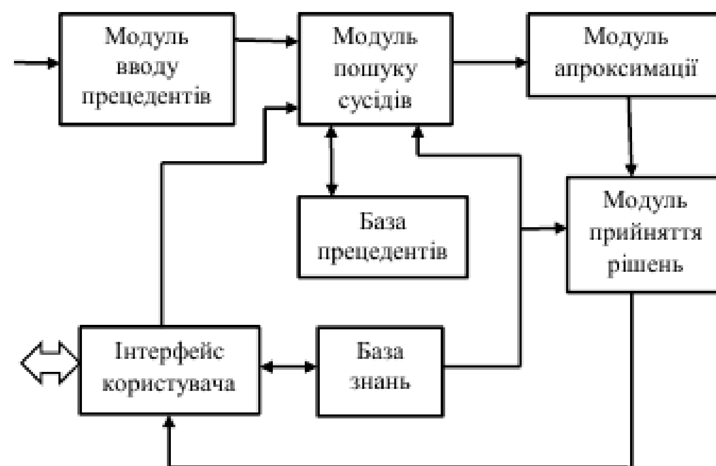


Рис. 3. Структура прецедентної системи моніторингу

Під час роботи системи на вхід модуля вводу прецедентів надходять нові зафіксовані прецеденти у форматі (1). Для кожного зафіксованого прецедента в модулі пошуку сусідів починається пошук найближчих сусідів згідно з рівнянням (2). Якщо сусідів не знайдено, через інтерфейс користувача енергоменеджеру надходить оферта з пропозицією вважати отриманий прецедент новим прецедентом ефективного енергоспоживання. Енергоменеджер з цим або погоджується, тоді прецедент заноситься до бази прецедентів з відміткою енергоефективної роботи, або не погоджується. У випадку незгоди енергоменеджер повинен з'ясувати причину втрати ефективності та повідомити її системі. У цьому випадку прецедент заноситься до бази прецедентів з відміткою причини неефективної роботи. Якщо модуль пошуку сусідів знайшов необхідну кількість сусідів, вони передаються до модуля апроксимації. У цьому модулі розраховуються коефіцієнти лінійної регресії $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_n$ функції ефективного енергоспоживання (3) і розраховується ефективна потужність енергоспоживання. У модулі прийняття рішень розрахована потужність ефективного енергоспоживання порівнюється з поточною потужністю і згідно з правилами, які зберігаються в базі знань, приймається рішення про ефективність. Крім цих правил база знань зберігає умови формування прецедентів, пошуку найближчих прецедентів та інші. Усі правила в базі знань можуть бути змінені енергоменеджером залежно від досвіду експлуатації системи моніторингу.

Порівняння математичної моделі, заснованої на прецедентах з відомими регресійними моделями

Прецедентна модель енергоспоживання технологічної системи порівнювалась з багатофакторною лінійною регресійною моделлю енергоспоживання хімічного виробництва аміаку, наведеною в [15]. Регресійна модель має вигляд $Z=11{,}676+0{,}319 \cdot X_{-1}+0{,}171 \cdot Y$. При роз-

рахунку спожитої електроенергії за регресійною моделлю використовувались похідні дані, наведені в [15].

Для побудови прецедентної моделі розглядалось 11 прецедентів енергоспоживання наступної структури: *Case*= ⟨*X; Y; Z*⟩. Для кожного з прецедентів було знайдено по три найближчих сусіда і по ним розраховані оцінки спожитої електроенергії за методом найменших квадратів. Порівняльні результати розрахунків наведено в таблиці 1. Середньоквадратичне відхилення оцінок спожитої електроенергії за регресійною моделлю і прецедентною моделлю від фактично спожитої електроенергії відповідно складає 0,9% та 1,1%. Незначна різниця в результатах моделювання ефективного енергоспоживання методами, що розглядаються, дозволяє говорити про можливість застосування методу прецедентів для оперативного моніторингу енергетичної ефективності технологічних систем.

Таблиця 1. Порівняння моделей моніторингу ефективності енергетичного споживання

Фактично спожита електроенергія Z, 1000 кВт· год	Оцінка спожитої електроенергія за регресійною моделлю 1000 кВт· год	Оцінка спожитої електроенергії за прецедентною моделлю 1000 кВт· год
1	2	3
31,988		31,819
32,005	32,066	30,936
31,932	31,966	32,057
31,923	32,038	32,522
32,105	32,191	31,529
32,056	32,164	32,753
32,063	32,251	33,384
32,098	32,050	31,874
31,971	33,247	32,178
31,953	32,790	31,717
31,860	32,270	31,996

Висновки

У статті запропонована інтелектуальна інформаційна технологія, яка здатна підтримувати прийняття рішень при оперативному моніторингу енергетичної ефективності технологічних систем. Проведено аналіз відомих систем енергетичного менеджменту, що дозволило сформулювати вимоги до засобів оперативного моніторингу енергетичної ефективності технологічних систем промислових підприємств і об'єктів житлово-комунального господарства. Наведено спосіб побудови обчислювальної системи оперативного енергетичного моніторингу, яка на відміну від існуючих систем наділена властивістю навчання і розпізнавання прецедентів стаціонарного енергоспоживання, моделювання міркувань і надання висновків на їх основі. Наявність експертної системи дозволяє адаптувати систему моніторингу до різних умов і режимів роботи технологічного обладнання, проводити оцінку ефективності енерговитрат у реальному масштабі часу та максимально автоматизувати процес моніторингу, виключивши необхідність збору та обробки великої кількості статистичних даних.

Література

1. Аспір В.Я. Порівняльні оцінки основних сучасних методів і засобів класифікації / В.Я. Аспір // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2013. – Вип. 23.14,– С. 343-348.
2. Варшавский П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П Еремеев // *Искусственный интеллект и принятие решений*. – 2009. – №1. – С. 45-57.
3. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.ccas.ru/voron
4. Гетало Н.С. Корреляционные модели определения норм расхода энергоресурсов для предприятий ЖКХ /Н.С. Гетало // *Энергосбережение*. – 2012. – № 1. – С. 25 – 32.
5. Gotel D G. Application of monitoring and targeting to energy management / D G. Gotel, D K. Hale // United Kingdom: HMSO BOOKS, 1989. 53 p.
6. Давиденко Л.В. Функції енергетичного моніторингу складних виробничих систем та їх завдання для підвищення рівня енергоефективності / Л.В. Давиденко, В.А. Давиденко, Н.В. Коменда, Н.В. Ярмольська // *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Випуск 153 „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України"*. – Харків: ХНТУСГ, 2014.- С.125-127

7. Евдокимов В.Ф. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты построения / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // *Енергетика та електрифікація.* – 2006. – №11. – С. 52-57.
8. Ємельянов В.О. Адаптація методу прецедентів для підтримки процесу визначення марки металу / В.О. Ємельянов, О.М. Фоменко // *Системи озброєння і військова техніка.* – 2011. – № 1. – С. 88–90.
9. Кабков П.К. Исследование операций и системный анализ: Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА. – 2005.– 96 с.
10. Климчук С. О. Розроблення прецедентної системи підтримки прийняття рішень для діагностики мостових кранів / С.О. Климчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 689 : Інформаційні системи та мережі. – С. 169–176.
11. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов. – М.: Наука. – 1986.– 232 с.
12. Луценко О. П. Огляд методів пошуку розладнань і перспективи їхнього застосування у технічному аналізі біржових котирувань / О.П. Луценко // *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій.* - 2012. - Т. 16. - С. 84-96.
13. Находов В.Ф. Концепція побудови інтегрованих систем контролю ефективності використання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // *Енергетика: економіка, технології, екологія.* –2013. – №1. – С. 72-75.
14. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. М.: ФИЗМАТЛИТ.- 2011.- 296 с.
15. Стеценко І.В. Побудова багатофакторних математичних моделей енергоспоживання на хімічному виробництві / І.В. Стеценко, Я.С. Бедерак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2013. - № 7. - С. 41 - 48. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2013_7_9.
16. Пат. 7103452 США Method and system for targeting and monitoring the energy performance of manufacturing facilities / Theodora Retsina - Опубл. 05.09.2006.

References

1. Aspir V.Ia. Porivnialni otsinky osnovnykh suchasnykh metodiv i zasobiv klasyfikatsii / V.Ia. Aspir // *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy.* – 2013. – Vyp. 23.14,– S. 343-348.
2. Varshavskyi P.R. Modelyrovanye rassuzhdenyi na osnove pretsedentov v yntellektualnykh systemakh podderzhky pryniatyia reshenyi / P.R. Varshavskyi, A.P Eremeev // *Yskusstvennыi yntellekt y pryniatye reshenyi.* – 2009. – №1. – S. 45-57.
3. Vorontsov K.V. Matematicheskie metody obuchenia po pretsedentam (teoria obuchenia mashin). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: http://www.ccas.ru/voron.
4. Getalo N.S. Korrelyatsionnyie modeli opredeleniya norm rashoda energoresursov dlya predpriyatiy ZhKH / N.S. Getalo // *Enerhosberezhenie.* – 2012. – № 1. – S. 25 – 32.
5. Gotel D G. Application of monitoring and targeting to energy management / D G. Gotel, D K. Hale // United Kingdom: HMSO BOOKS, 1989. 53 p.
6. Davidenko L.V. Funktsiyi energetichnogo monitoringu skladnyh vyrobnychyh system ta yih zavdannia dlia pidvyshchennya rivnya enerhoefektyvnosti / L.V. Davydenko, V.A. Davydenko, N.V. Komenda, N.V. Yarmolska // *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Tekhnichni nauky. Vypusk 153 „Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy".* – Kharkiv: KhNTUSH, 2014.- C.125-127.
7. Evdokimov V.F. Kompyuternaya model monitoringa energoeffektivnosti: informatsionno-tehnologicheskie aspektyi postroeniya / V.F. Evdokimov, Z.H. Borukaev, K.B. Ostapchenko // *Energetika ta elektrifIkatsiya*. – 2006. – #11. – S. 52-57.
8. Emelyanov V.O. Adaptatsiya metodu pretsedentiv dlya pidtrimki protsesu viznachennya marki metalu / V.O. Emelyanov, O.M. Fomenko // *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika.* – 2011. – # 1. – S. 88–90.
9. Kabkov P.K. Issledovanie operatsiy i sistemnyiy analiz: Uchebnoe posobie. – M.: MGTU GA. – 2005.– 96 s.
10. Klimchuk S. O. Rozroblennya pretsedentnoyi sistemi pidtrimki priynyattya rishen dlya diagnostiki mostovih kraniv / S.O. Klimchuk // *Visnik NatsIonalnogo universitetu "Lvivska politehnika" : Informatsiyni sistemi ta merezhi.* – 2010. – # 689. – S. 169–176.
11. Louson Ch., Henson R. Chislennoe reshenie zadach metodom naimenshih kvadratov. – M.: Nauka. – 1986.– 232 s
12. Lutsenko O. P. Oglyad metodiv poshuku rozladnan i perspektivi yihnogo zastosuvannya u tehnichnomu analizi birzhovih kotiruvan / O.P. Lutsenko // AktualnI problemi avtomatizatsiyi ta InformatsIynih tehnologIy. - 2012. - T. 16. - S. 84-96.
13. Nahodov V.F. Kontseptsiya pobudovi integrovanih sistem kontrolyu efektivnosti vikoristannya elektrichnoyi energiyi na virobnicho-gospodarskih ob'ektah / V.F. Nahodov, O.V. Borichenko // *Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya.* –2013. – #1. – S. 72-75.
14. Osipov G.S. Metodyi iskusstvennogo intellekta. M.: FIZMATLIT.- 2011.- 296 s.
15. Stetsenko I.V. Pobudova bagatofaktornih matematichnih modeley energospozhivannya na himichnomu virobnitstvi / I.V. Stetsenko, Ya.S. Bederak // *Energosberezhenie. Energetika. Energoaudit.* - 2013. - # 7. - S. 41 - 48. – Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecee_2013_7_9.
16. Pat. 7103452 USA Method and system for targeting and monitoring the energy performance of manufacturing facilities / Theodora Retsina - Opubl. 05.09.2006.

RESUME

O.M. Bohdanov, B.M.Pleskach
Information technology for monitoring efficiency of energy consumption in technological systems

The article analyzes the existing systems of energy monitoring in the industry and communal services. It is revealed that the main disadvantage of such systems is the complexity of energy consumption modeling. The reason for this is the need to process large volumes of statistical information when constructing regression or correlation equations in the current production conditions. To eliminate this disadvantage, the authors proposed an information technology for operational monitoring of energy efficiency based on the principles of artificial intelligence.

In the course of the research, the methodical support for the system of operational monitoring of energy efficiency was created, the hardware equipment suitable for the implementation of the operational monitoring system was defined, the software information technology structure of the operational monitoring of energy efficiency was created, and an approximate estimation of the adequacy of the information technology models was made.

Operational monitoring of energy efficiency is based on the regular measurement of the operating parameters, modeling the power of effective energy consumption based on those parameters and comparing it with the current power of energy spending.

The power of effective energy consumption modeling is performed on the basis of the analysis of precedents. The precedent of stationary power consumption is a case in the technological system, in which all the factors of influence are in a stationary state.

At the first stage of monitoring, the input stream of operating parameters is checked for being stationary according to the known methods of analysis. At the second stage of the monitoring, a search is carried out on the base of precedents similar to the one in question, using the method of the nearest neighbors. At the third stage of the monitoring, the piecewise-linear approximation of the effective power consumption function is being performed. At the fourth stage of the monitoring, the current energy state is calculated. It is being done by calculating the difference between the current power consumption and the power consumption obtained at the previous stage. At the fifth monitoring stage, newly registered precedents fill the database of precedents.

The hardware of information technology for operational monitoring of energy efficiency is represented by a programmable controller associated with a counter of a local power accounting center, an analog input module, and an upper-level computer.

The software of the precedent monitoring system includes a precedent input module, a neighboring search module, an approximation module, a decision-making module, a database of precedents and knowledge, and a user interface.

The authors developed an intelligent energy monitoring system, which, unlike existing systems, has the property of learning and recognizing stationary energy consumption precedents. The presence of an expert system allows to adapt the monitoring system to different conditions and operating modes of the technological equipment, to evaluate the efficiency of energy consumption in real time and to maximize the automation of the monitoring process.

Надійшла до редакції 21.12.2018

